

# 机器人建模与控制

刘山

浙江大学控制科学与工程学院



# 教师

## ➤ 刘山

- 办公室：控制学院老楼404室
- 实验室：教九511
- 手机：13958055563
- Email: [sliu@zju.edu.cn](mailto:sliu@zju.edu.cn)

## ➤ 实验老师：

- 仲玉芳
  - 手机：13296769291
  - Email: [yfzoffice@zju.edu.cn](mailto:yfzoffice@zju.edu.cn)

## ➤ 助教：

- 邓高峰
  - 手机：15356151801
  - Email: [22132043@zju.edu.cn](mailto:22132043@zju.edu.cn)

## ➤ 主要研究方向

### – 智能控制理论与技术

- 1.学习控制
- 2.自适应控制

### – 机器人技术

- 1.机械臂的控制与规划
- 2.基于视觉的伺服控制

### – 工业过程控制

- 1.钢铁工业过程建模与控制
- 2.间歇过程控制



# 课件下载与作业上传

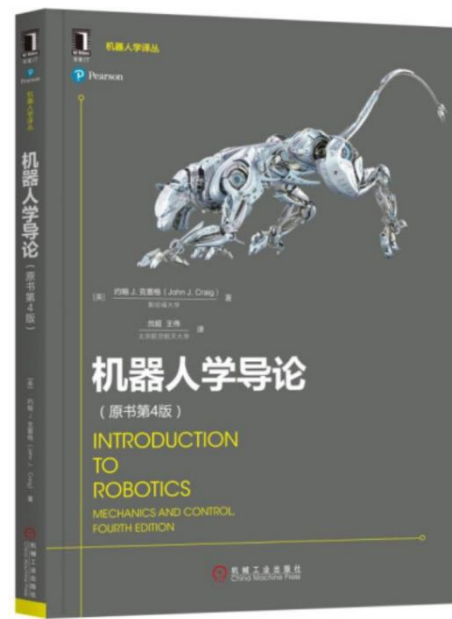
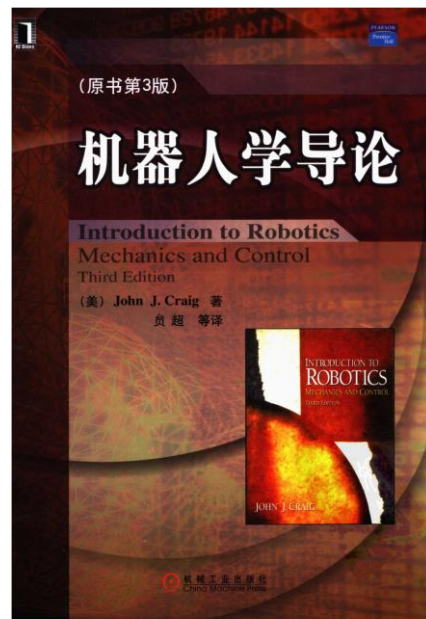
---

➤ 学在浙大

– <http://course.zju.edu.cn>

# 课程内容&主要参考书

- 关节型机器人-操作臂
- 运动学
- 动力学
- 运动规划
- 控制



## 主要参考书

- John J. Craig著, 负超等译. **机器人学导论**. 北京: 机械工业出版社, 2006/2018
- 蔡自兴. **机器人学**. 北京: 清华大学出版社, 2000
- Mark W. Spong等著, 贾振中等译. **机器人建模和控制**. 北京: 机械工业出版社, 2016

# 课程要求

---

## ➤ 理论教学

- 预习，课堂听讲（有事有病请假），复习
- 春夏学期每周四的第7、8节上理论课
- 按时完成作业

（每周四上课前交作业，迟交即使全对也只以80%计）

## ➤ 实验环节

- 不按课表时间做实验，实验安排在夏学期，具体计划春学期末发布
- 按时完成实验报告

## ➤ 成绩政策

- 实验报告：20%
- 平时成绩（课堂表现、作业、随堂练习）：40-50%
  - 一旦发现有作业抄袭，抄袭与被抄的同学该次作业均以零分计！！
  - 随堂练习未交卷得零分（请假除外），交白卷有基本分
- 期末考试：30-40%（若期末考试成绩低于40分，则总评不及格）

# 第1章 绪论



CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING

SINCE 1956

# 工业机器人定义

## ➤ 美国机器协会（RIA）：

- 一种用于移动各种材料、零部件、工具或专用装置的，通过程序化的动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机。

## ➤ 国际标准化组织（ISO）：

- 一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机。这种操作机具有多个轴，能够借助可编程操作来处理各种材料、零部件、工具和专用装置，以执行各种任务。

## ➤ 日本工业机器人协会（JIRA）：

- 在三维空间具有类似人体上肢动作机能及结构，并能完成复杂空间动作的、多自由度的自动机械。

## ➤ 中国国家标准：

- 工业机器人为模拟人手臂、手腕和手功能的机械电子装置，它可以把任一物件或工具按空间位置、姿态的时变要求进行移动，从而完成某一工业生产的作业要求。

**一种应用于工业自动化的，多轴的、可编程的、自动控制的、多功能的执行机构**

# 使用工业机器人的目的

---

## 在4D环境中完成4A任务

(Perform 4A tasks in 4D environments)

### ➤ 4A任务:

- 自动 (Automation)
- 增强 (Augmentation)
- 辅助 (Assistance)
- 自主 (Autonomous)

### ➤ 4D环境:

- 危险 (Dangerous)
- 肮脏 (Dirty)
- 枯燥 (Dull)
- 困难 (Difficult)



# 关节型工业机器人发展史

- **1959年**：美国的英格伯格和德沃尔联手制造出世界上第一台关节型工业机器人实验样机。
- **1967年**：日本引进了美国的关节型工业机器人技术，经过消化、仿制、改进、创新，到**1980年**，关节型工业机器人技术在日本取得了极大的成功与普及。
- **1980年代以来**：欧洲（瑞典、德国、英国、法国、意大利及西班牙等）关节型工业机器人市场进入快速增长期，年增长率平均保持在**15%**左右。
- 中国关节型工业机器人技术起步较晚，**1987年**，北京首届国际机器人展览会上，我国展出了**10**余台自行研制或仿制的关节型工业机器人。经过三十多年的发展，我国研制和生产的关节型工业机器人已达到了工业应用水平。

# 关节型工业机器人技术进展

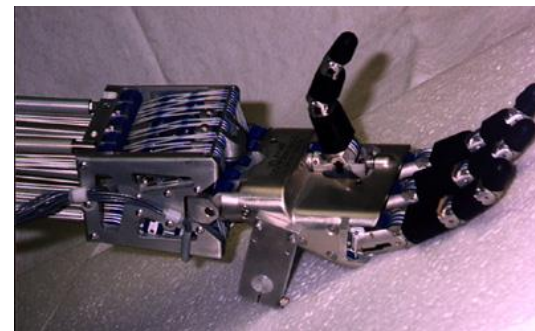
## ➤ 第一代关节型机器人

- 主要是示教再现控制的操作机器人



## ➤ 第二代关节型机器人

- 具有感受功能的机器人。包括具有视觉、触觉、听觉等



## ➤ 第三代关节型机器人

- 智能化的高级机器人



# 示教再现机械臂



This demonstration shows the position controll of the robot

# 关节型工业机器人应用领域



- 汽车及汽车零部件制造业
- 机械加工行业
- 电子电气行业
- 橡胶及塑料工业
- 食品工业
- 木材与家具制造业
- 。 。 。
- 越来越广泛的应用



# 工业机器人公司



## 四大家族



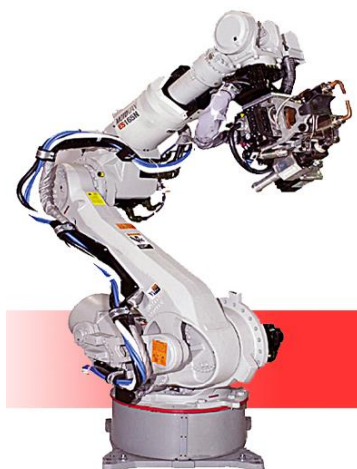
- 瑞典
  - **ABB Robotics**
- 日本
  - **FANUC** (发那科)
  - **Yaskawa** (安川)
  - **Panasonic** (松下)
  - **NACHI** (那智不二越)
  - **Kawasaki** (川崎)
  - **EPSON** (爱普生)
- 德国
  - **KUKA Roboter** (库卡)
- 美国
  - **Adept Technology**
  - **American Robot**
  - **Emerson Industrial Automation**
  - **S-T Robotics**
- 意大利
  - **COMAU** (柯马)
- 瑞士
  - **Staubli** (史陶比尔)
- 英国
  - **AutoTech Robotics**
- 加拿大
  - **Jcd International Robotics**
- 以色列
  - **Robogroup Tek**
- 中国
  - **新松 (SIASUN)**
  - **埃夫特 (EFFORT)**



# 工业生产中的关节型机器人类型



弧焊机器人



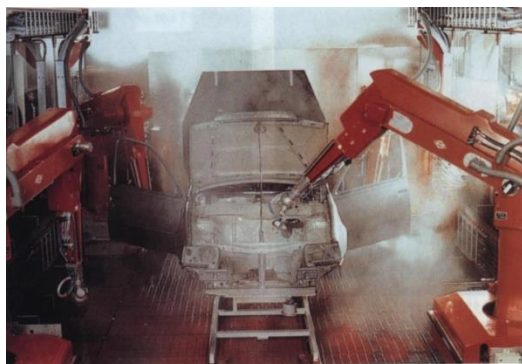
点焊机器人



分配机器人



装配机器人

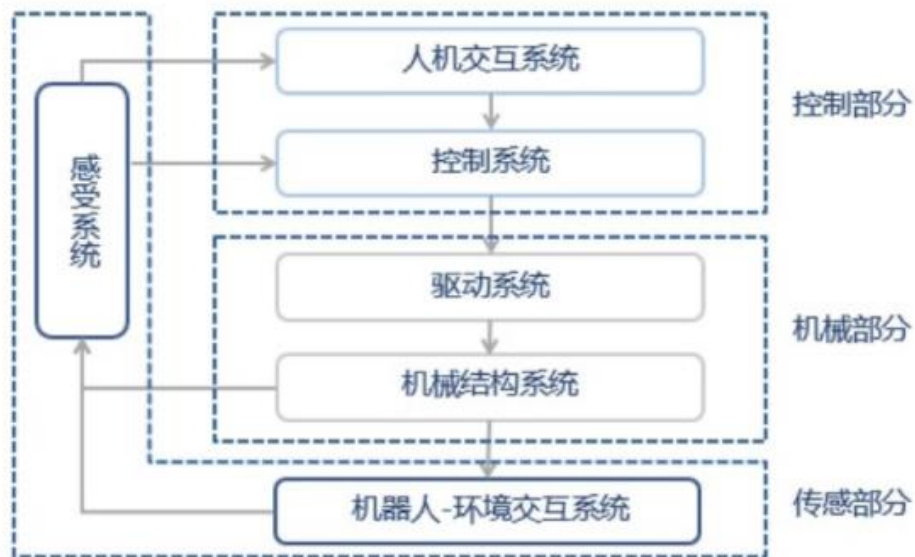


喷漆机器人



搬运机器人

# 关节型机器人体系结构的三部分



- **机电部分**
  - 用于实现各种动作
- **传感部分**
  - 用于感知内部和外部的信息
- **控制部分**
  - 控制机器人完成各种动作

# 关节型机器人体系结构的六大系统

- **驱动系统**
  - 提供机器人各部位、各关节动作的原动力。
- **机械结构系统**
  - 完成各种动作。
- **感受系统**
  - 由内部传感器和外部传感器组成。
- **机器人-环境交互系统**
  - 实现机器人与外部设备的联系和协调并构成功能单元。
- **人机交互系统**
  - 人与机器人联系和协调的单元。
- **控制系统**
  - 根据程序和反馈信息控制机器人动作的中心。



---

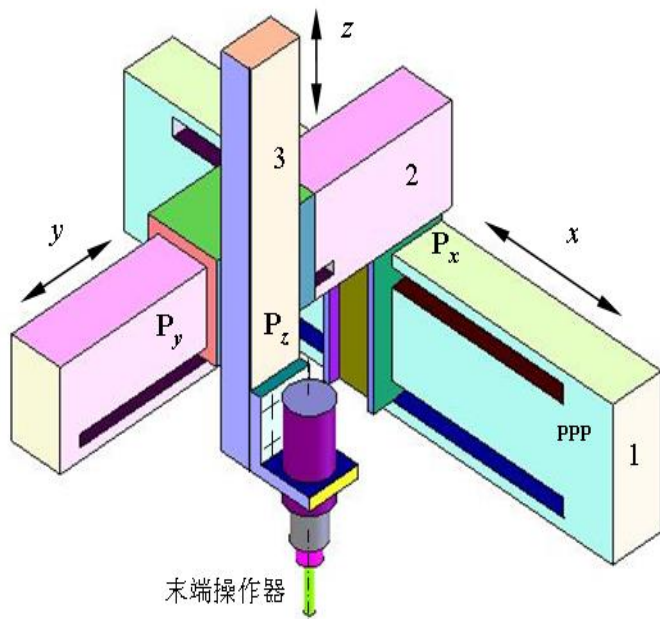
# 绪论-了解机械臂

# 机械臂的基本结构

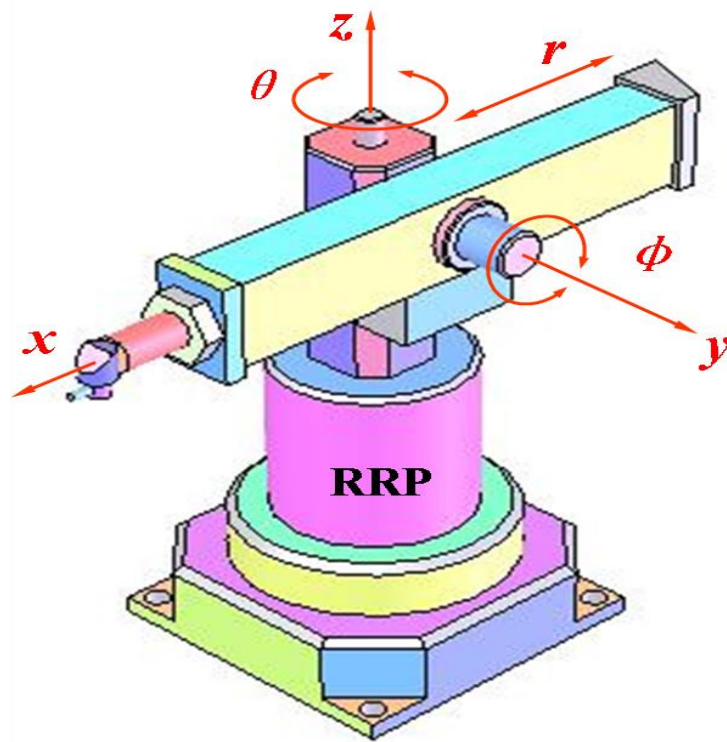
- 机械臂（工业机器人）
  - 通过关节将（刚性）连杆连接
  - 关节：转动或滑动
  - 驱动：电机或液压
  - 末端执行器安装在操作臂的自由端



# 关节

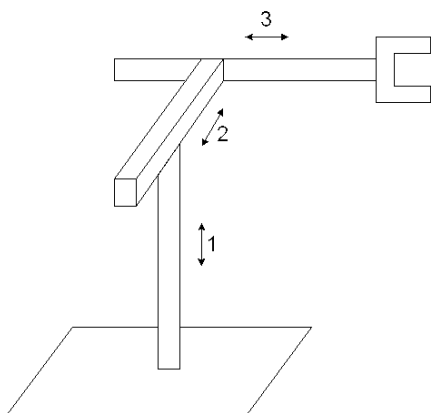


滑动关节

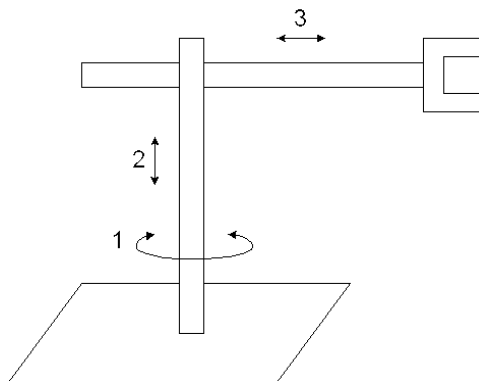


转动关节

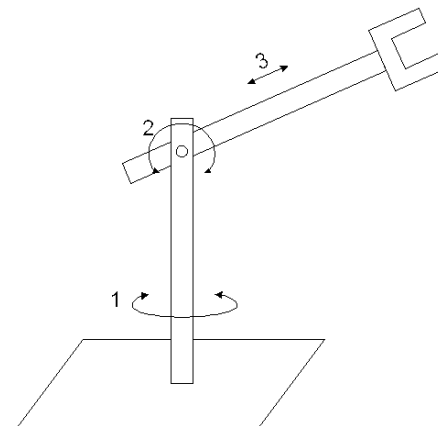
# 机械臂的常见结构类型



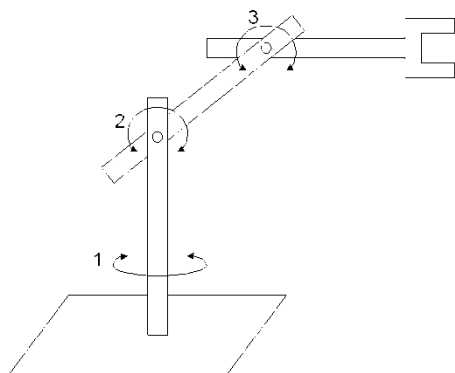
直角坐标型



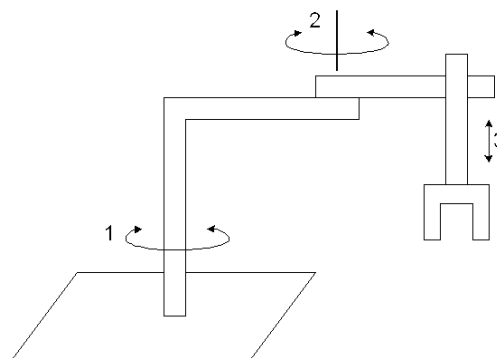
圆柱坐标型



球面坐标型



转动关节型



SCARA型  
(平行关节型)

# 机械臂的主要技术参数

## ➤ 自由度

- 机器人所具有的独立坐标轴运动的数目。

## ➤ 工作范围

- 指机器人末端操作器所能到达的区域。

## ➤ 工作精度

- 定位精度：指机器人实际到达的位置和设计的理想位置之间的差异。
- 重复定位精度：指机器人重复到达某一目标位置的差异程度。

## ➤ 工作速度

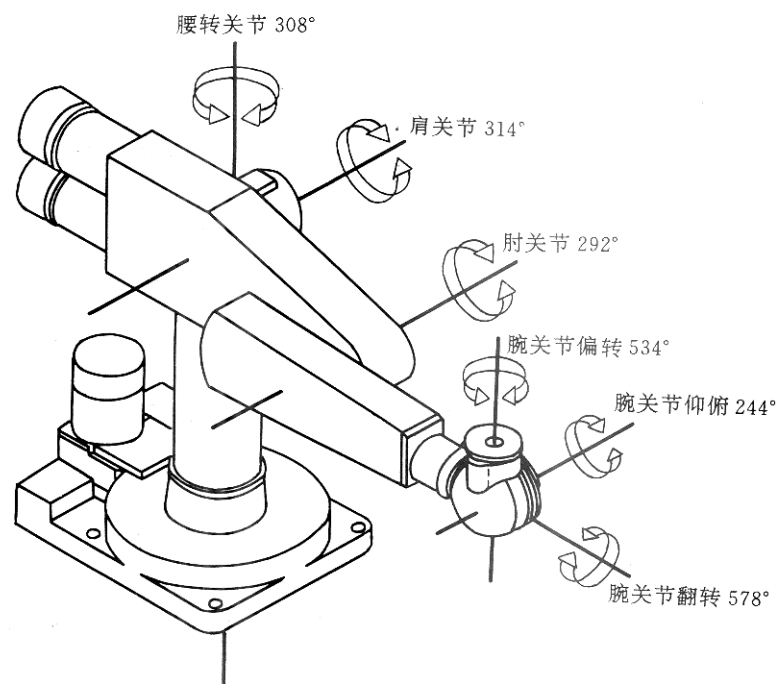
- 指机器人各个方向的移动速度或转动速度。这些速度可以相同，可以不同。

## ➤ 承载能力

- 指机器人在工作范围内的任何位姿上所能承受的最大质量。

# 机械臂的轴数

- 主轴（1-3）
  - 定位腕部
- 从轴（4-6）
  - 确定工具位置
- 冗余（7-n）
  - 绕开障碍物，避免不理想姿态



PUMA 工业机器人



# 机械臂的基本问题

---

- 路径规划（**Path planning**）
  - 如何给定机械臂的理想运动轨迹？
- 运动控制（**Motion control**）
  - 如何控制机械臂按给定的运动轨迹移动？
- 力控制（**Force control**）
  - 如何控制机械臂施加适当的力？

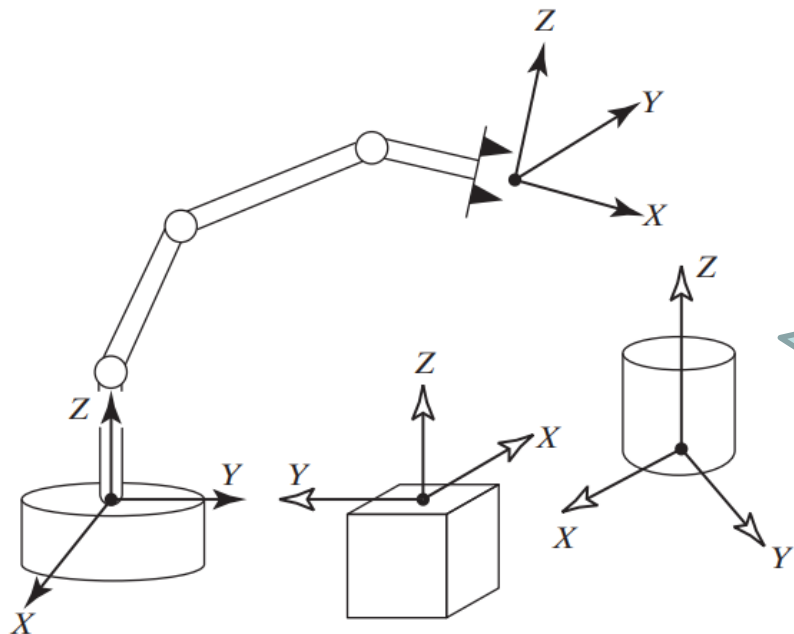


# 课程主要内容

---

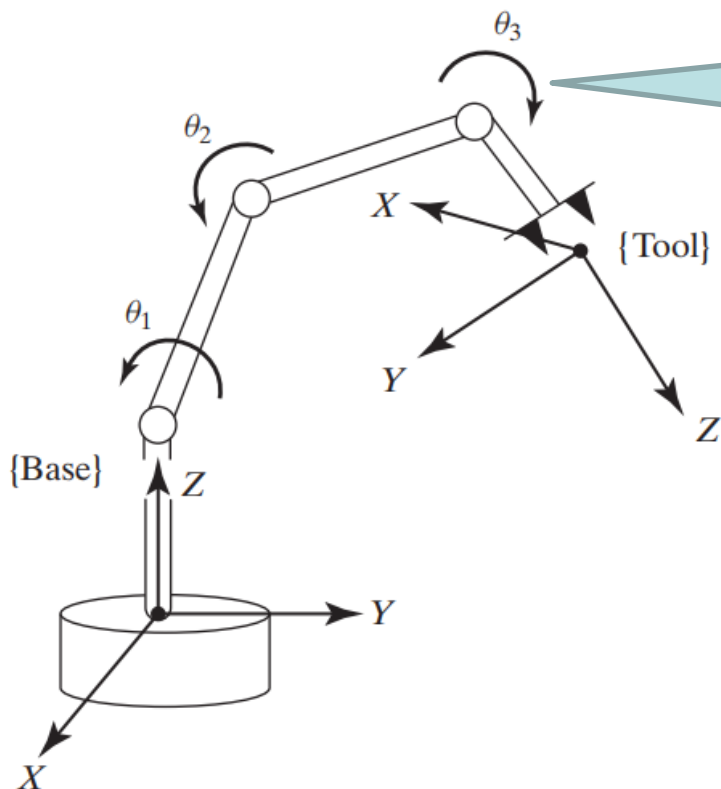
- 位姿描述
- 正运动学
- 逆运动学
- 速度与静力
- 动力学
- 轨迹生成
- 控制

# 位姿描述



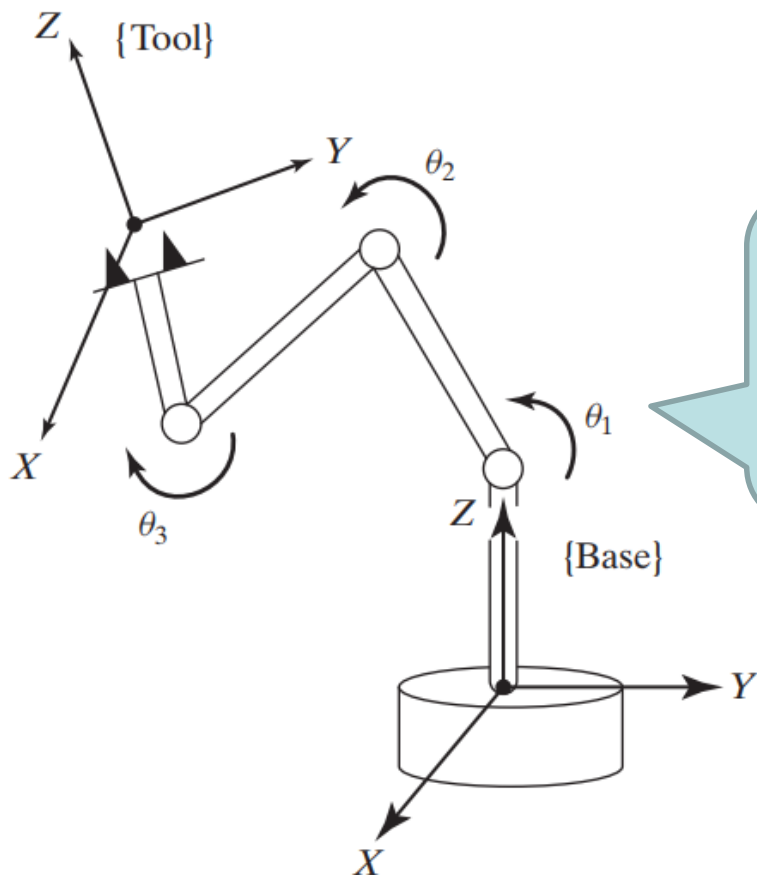
**位姿描述**：为了描述空间物体的位置和姿态，需要在物体上设置一个坐标系。并在某个参考坐标系中对位置和姿态进行描述

# 正运动学&逆运动学



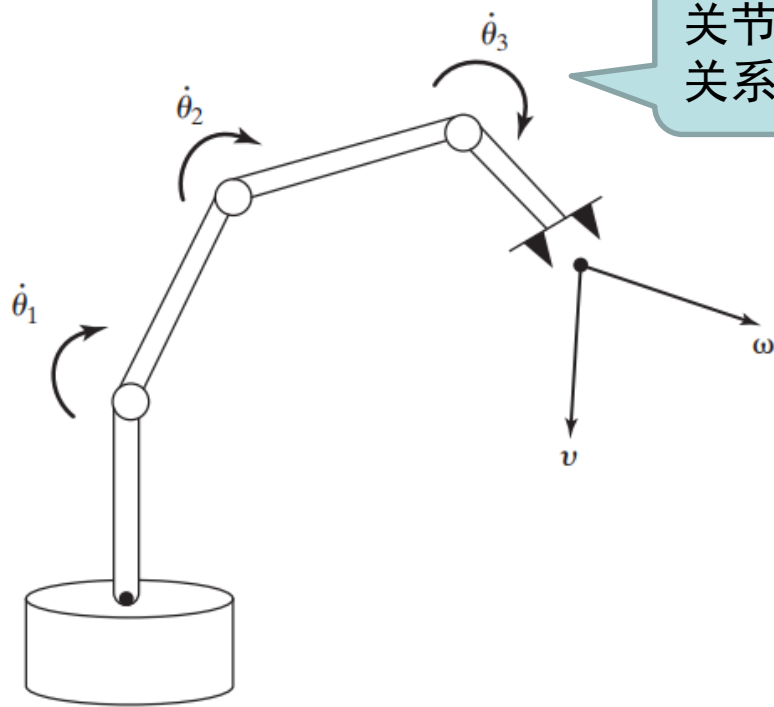
**正运动学**：正运动学方程是各个关节变量的函数，描述了工具坐标系相对于基坐标系的位置和姿态

# 正运动学&逆运动学



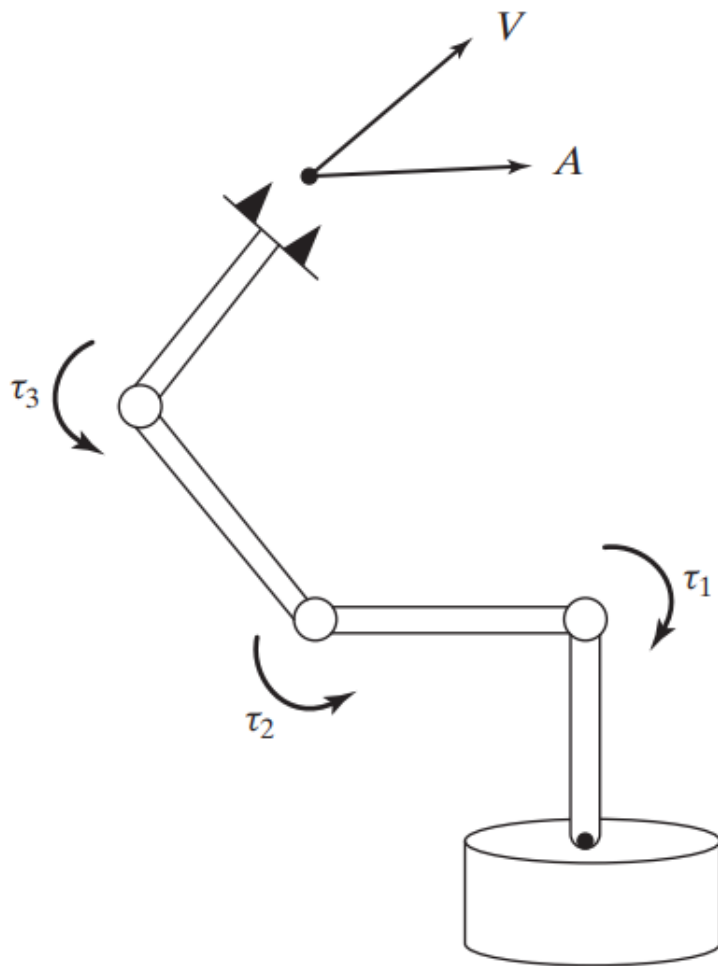
**逆运动学：**给定工具坐标系的位置和姿态，通过逆运动学可以计算出各关节变量

# 速度与静力



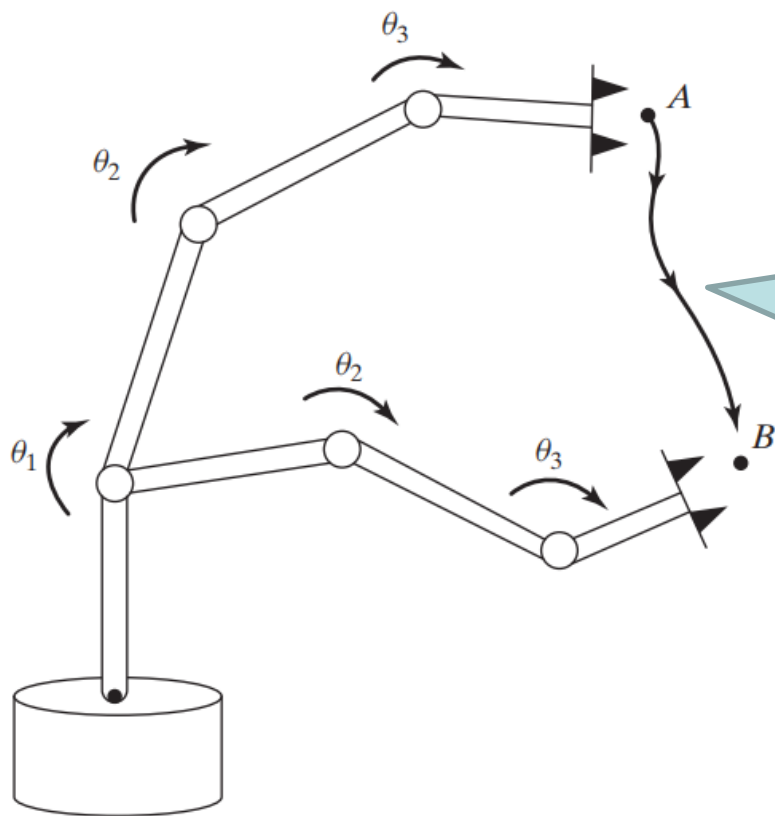
关节速度和末端执行器速度的几何关系可以由雅可比矩阵表示

# 动力学



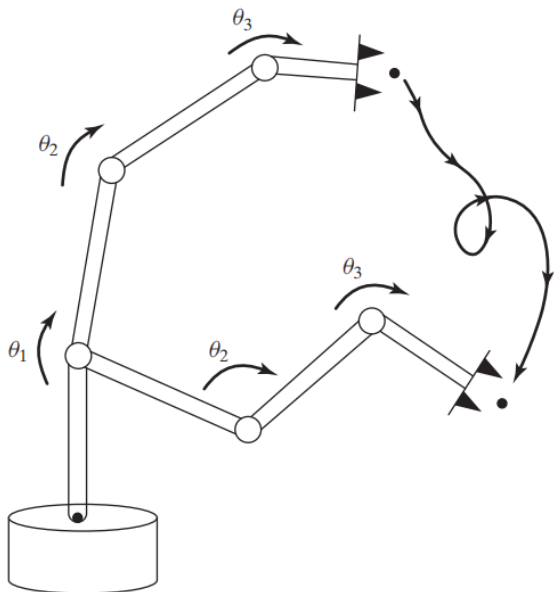
**动力学：**动力学方程描述了驱动器驱动力矩和操作臂运动之间关系

# 轨迹生成

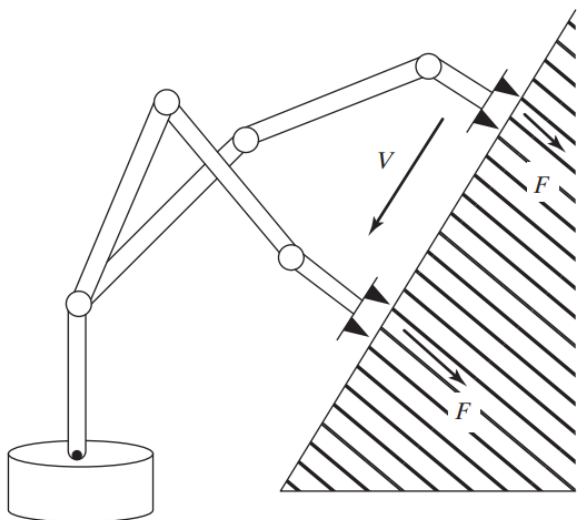


**轨迹生成：**为了使末端执行器在空间中从 A 点运动到 B 点，必须为各个关节计算一个连续运动轨迹

# 控制



**控制：**为了使操作臂沿着期望轨迹运动，必须设计控制系统，通过关节传感器的反馈保持操作臂的轨迹运动



**控制：**为了使操作臂以恒力在一个表面上滑动，必须应用力控制系统



---

Thanks!